И. Х. Геллер

Селеновые выпрямители

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Справочная серия

Выпуск 496

И. Х. ГЕЛЛЕР

СЕЛЕНОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА ЛЕНИНГРАД

1964

УДК 621.314.634.
Г31

Содержатся сведения об устройстве и принципе действия селеновых выпрямителей, их электрических параметрах и свойствах, а также приведены данные о конструкции селеновых выпрямительных элементов и выпрямителей. Рассмотрены наиболее употребительные схемы выпрямления, соотношения между основными электрическими показателями и методы их определения. Приведены особенности эксплуатации селеновых выпрямителей и справочный материал о выпрямителях, выпускаемых промышленностью.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей.

СОДЕРЖАНИЕ

Краткое представление о физических основах выпрямления . . . 3
Конструкция селеновых элементов и выпрямителей 4
Основные параметры селеновых элементов 7
Электрические характеристики селеновых выпрямителей . . 8
Свойства селеновых выпрямителей и соотношения между некоторыми параметрами в схемах выпрямления 12
Справочный материал, типы выпрямителей, условия эксплуатации 14

Геллер Исаак Хаимович

Селеновые выпрямители. М.—Л Издательство «Энергия», 1964 г., стр. 24, с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 496).

Редактор *А. И. Кузьминов* Техн. редактор *Н. А. Бульдяев*

Обложка художника *А. М Кувшинникова*

Сдано в набор 13/IX 1963 г. Подписано к печати 19/XI 1963 г.
Т 14843 Бумага 84×108[1]/32. 1,23 печ. л. Уч.-изд. л. 1.6
Тираж 80 000 экз. Цена 6 коп. Зак. 4167

Типография изд-ва «Московская правда»

КРАТКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

Процесс выпрямления удобнее всего рассматривать на примере германиевых или кремниевых вентилей.

Механизм проводимости в германии или кремнии определяется типом вводимой в них примеси. Если в германий или кремний ввести, например, атомы фосфора или мышьяка, то носителями зарядов в полупроводнике будут отрицательно заряженные электроны (проводимость типа *n*). При введении же атомов бора или алюминия носителями зарядов в полупроводнике будут положительно заряженные дырки (проводимость типа *p*).

Механизм проводимости в дырочных полупроводниках может быть наглядно описан следующим образом. Представим себе заполненный автобус, в проходе которого вплотную друг за другом стоят пассажиры. Предположим далее, что через переднюю дверь из автобуса вышел один пассажир. Образуется пустое место, или «дырка». При последовательном продвижении вперед стоящих людей дырка соответственно перемещается в обратном направлении и, в конце концов, может быть заполнена дополнительно вошедшим человеком.

Таким образом, выход и вход в автобус одного пассажира оказывается возможным описать либо путем перемещения вперед большого числа людей, либо путем перемещения в противоположном направлении пустого места или дырки.

В полупроводниках с дырочным типом проводимости передвижение зарядов удобно описывать с помощью перемещения дырок, появление которых обусловлено наличием в решетке полупроводника, содержащего примесь незаполненных связей.

В такой модели дырка рассматривается как положительный электрический заряд, равный по величине заряду электрона.

Если в пластинку германия или кремния ввести, с одной стороны, примесь из элементов V группы системы Менделеева, а с другой — примесь из элементов III группы, то в пластинке возникнут две области с разным механизмом проводимости — электронной и дырочной, а на границе между этими областями образуется электронно-дырочный переход, или так называемый запорный слой. Сопротивление запорного слоя зависит от полярности приложенного к нему напряжения. Если анод источника питания присоединить к *n*-типу, а катод к *p*-типу, то электроны и дырки будут уходить от границы перехода, вследствие чего в нем уменьшится количество носителей заряда и электронно-дырочный переход приобретет большое сопротивление. При перемене полярности электроны и дырки под действием электрического поля будут двигаться к электронно-дырочному переходу и тем самым резко уменьшат его сопротивление.

Такое направление, при котором плюс источника приложен к p-полупроводнику, называется прямым направлением, и ток в этом случае называется прямым током. Направление, при котором плюс источника присоединен к n-полупроводнику, называется обратным, и ток в этом случае называется обратным током.

Очевидно, что при подведении к вентилю переменного напряжения ток будет проходить преимущественно в прямом направлении, что и обусловливает выпрямление.

В селеновых вентилях выпрямление также происходит на границе электронного и дырочного полупроводников. Однако в отличие от германиевых и кремниевых вентилей, химический состав контактирующих p- и n-полупроводников различен. Полупроводником дырочного типа служит селен, а полупроводником электронного типа — сульфид или селенид кадмия, образующиеся в результате химического соединения в процессе технологического изготовления вентилей.

КОНСТРУКЦИЯ СЕЛЕНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Внешний вид единичных селеновых элементов показан на рис. 1. Как видно, элементы представляют собой пластинки разных размеров и формы: квадратные, круглые, с центральным отверстием и без него. Вентили размером 5, 7 и 12 *мм* называются таблеточными.

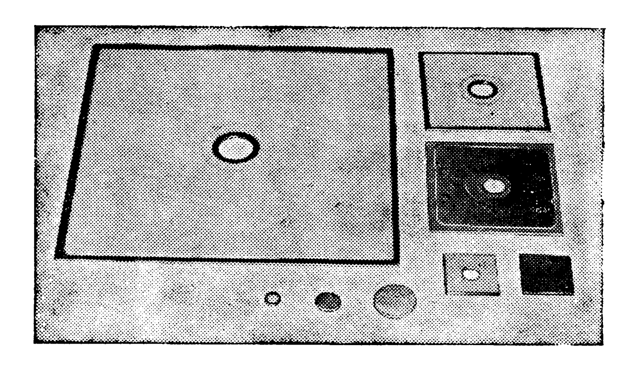


Рис. 1. Внешний вид селеновых элементов.

Отверстия в элементах предназначаются для сборки выпрямителей на изолированных шпильках. Элементы без центральных отверстий собираются в пакеты в плоских корпусах, а таблеточные элементы набираются последовательно в трубках из изолирующего материала (рис. 2).

В конструкции селеновых элементов следует различать несколько основных узлов: основание, слой полупроводника — селена и верхний электрод.

Рассмотрим построение двух основных типов селеновых элементов серий А и Г, выпускаемых нашей промышленностью.

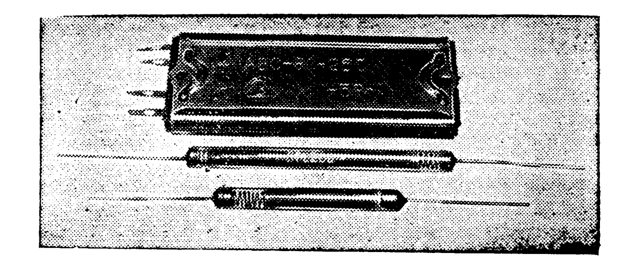


Рис. 2. Элементы в плоских корпусах и в трубках из изолирующего материала.

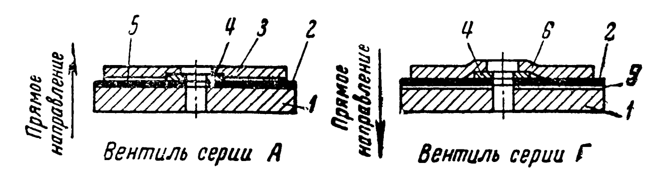


Рис. 3. Устройство селеновых вентилей серий А и Г.
1 — алюминиевое основание; 2 — слой селена; 3 — катодный сплав; 4 — лаковое кольцо (для серии А) или бумажная шайба (для серии Г); 5 — запорный слой; 6 — алюминиевая фольга.

В вентилях обоих типов (рис. 3) в качестве основания, на котором наращивается выпрямительный элемент, применяется алюминиевая пластинка толщиной 0,8 *мм*. Основание служит также одним из токосъемных электродов. Вторым токосъемным электродом у элементов серии А служит так называемый катодный сплав из олова и кадмия, а у элементов серии Г — алюминиевая фольга. По этому признаку элементы легко различаются между собой по внешнему виду.

Толщина слоя селена равна 50—60 *мк*. Бо́льшая часть его поверхности закрыта. Серая полоска селена шириной 1—1,5 *мм* видна только по периферии элемента.

Технология изготовления селеновых выпрямительных элементов предусматривает образование запорного слоя только на границе селена с одним из электродов. На границе с другим электродом выпрямление должно отсутствовать, т. е. должен быть получен контакт с возможно меньшим переходным сопротивлением.

У элементов серии А запорный слой расположен на границе между селеном и катодным сплавом, а на границе селена и основания элемента имеется контакт с малым сопротивлением. У элементов серии Г, наоборот, запорный слой образуется между селеном и алюминиевым основанием, а контакт с малым сопротивлением — между селеном и алюминиевой фольгой. Различное расположение запорного слоя определяет и разную полярность для прямого и обратного направления у вентилей обоих типов.

У элементов типа А прямой ток протекает при приложении плюса источника питания к основанию элемента, а минуса — к катодному сплаву; у вентилей серии Г полярность обратная, т. е. анодом элемента служит фольга, а катодом — алюминиевое основание.

Толщина запорного слоя у селеновых элементов порядка 10^{-5} *см*. На рис. 3 для наглядности размеры запорного слоя значительно преувеличены.

При сборке селеновых выпрямителей на изолированной шпильке центральная часть элементов подвергается значительному давлению, что может привести к разрушению запорного слоя или к значительному увеличению обратного тока. Чтобы избежать этого, у элементов серии А на селен вокруг центрального отверстия наносят лаковое кольцо, бо́льшая часть площади которого закрывается катодным сплавом. В покрытом лаком месте селен изолирован от катода и запорный слой не образуется. Поэтому на изолированный участок может оказываться большое давление без нарушения выпрямительных свойств.

У элементов серии Г для ограничения увеличения обратного тока при сжатии выпрямительных элементов в столбе в центральной части элемента между фольгой и слоем селена расположена тонкая бумажная шайба, впрессованная в селен. В элементах без центрального отверстия изолирующих прокладок нет.

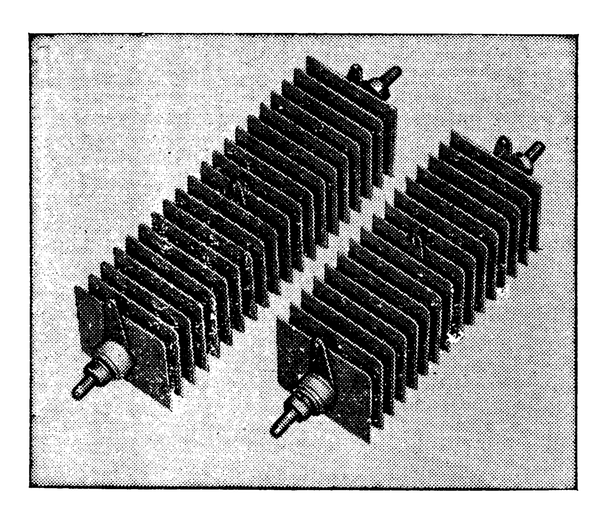


Рис. 4. Селеновые выпрямители из элементов квадратной формы.

Основной конструктивный вид селенового выпрямителя представляет собой выпрямительный столбик. На рис. 4 показаны столбики, собранные из элементов квадратной формы

Для улучшения охлаждения выпрямителя между элементами оставляется зазор, который регулируется количеством дистанцион-

ных шайб. Они же создают электрический контакт между выпрямительными элементами. Непосредственно к элементу со стороны катодного сплава в выпрямителях серии А, а также со стороны алюминиевой фольги в выпрямителях серии Г примыкает фигурная токосъемная шайба, выполненная в виде тарелочки. Особая форма токосъемной шайбы исключает механическое повреждение активной части выпрямительного элемента вблизи центрального отверстия.

Выпрямительные столбики различаются как по форме и размерам входящих в них селеновых элементов, так и по схемам выпрямления. На одной изолированной шпильке с помощью выводов и перемычек могут быть получены либо отдельные плечи выпрямителя, либо законченные выпрямительные схемы: однофазный и трехфазный мосты, схемы со средней точкой и др. Элементы могут образовывать последовательное, параллельное либо смешанное соединение.

Полярность выводов обозначается цветными полосками:

красный цвет +

синий цвет —

желтый цвет ~

Элементы прямоугольной или квадратной формы, не имеющие центрального отверстия, собираются в плоских металлических корпусах и, как правило, соединяются по мостовой схеме. Выпрямители имеют два сквозных отверстия для крепления к шасси аппаратуры, которое в этом случае играет роль радиатора, рассеивающего значительную часть выделяемого в выпрямителе тепла. Отвод тепла с помощью радиатора предусмотрен при определении номинальных данных выпрямителя.

Сопротивление изоляции выпрямителей относительно стяжной шпильки или металлического корпуса составляет не менее 2 *Мом* после пребывания выпрямителей в среде с относительной влажностью воздуха 95—98% при температуре 20±5° С в течение двух суток. В нормальных климатических условиях сопротивление изоляции значительно выше.

Выпрямительные столбики имеют влагозащитное покрытие. Исключение составляют выпрямители, предназначенные для работы в трансформаторном масле.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЛЕНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Наилучшим образом электрические параметры выпрямительных элементов характеризуются с помощью вольт-амперной характеристики, определяющей зависимость тока от приложенного к элементу напряжения.

Непрерывный ряд напряжений, прикладываемых к вентилю в прямом и обратном направлениях, позволяет снять две ветви вольт-амперной характеристики — прямую и обратную. Практически выпрямительные элементы характеризуются более просто: определяется величина падения напряжения в прямом направлении при заданном классификационном токе и величина обратного тока при определенном классификационном обратном напряжении.

Первый параметр определяет группу вентилей, а второй — допустимое обратное напряжение, которое может быть на них подано. Вентили, у которых величина прямого падения напряжения не превышает 0,45 *в*, относятся к лучшей 4-й группе; затем следует 3-я группа с пределом напряжений от 0,45 до 0,55 *в* и 2-я груп-

па — от 0,55 до 0,65 *в*. Вентили с бо́льшим падением напряжения, относящиеся к худшей, 1-й группе, практически не выпускаются.

По величине допустимого обратного напряжения вентили разделяются на следующие классы:

Допустимая величина эффективного значения переменного напряжения на один элемент, *в*	20	25	30	35	40	45
Класс вентиля	В	Г	Д	Е	И	К

Классы В, Г и Д относятся к вентилям серии А, а Е, И и К — к вентилям серии Г.

Необходимо учитывать, что при определении группы вентилей через последние пропускают ток синусоидальной формы от источника однофазного однополупериодного напряжения.

Ток и напряжение на элементе измеряют приборами магнитоэлектрического типа (средние значения за период).

Величина классификационного тока зависит от активной площади выпрямительного элемента и в среднем равна 25 *ма/см²*. Так, для элементов размерами 40×40 *мм²* классификационный ток равен 300 *ма*, а для элементов размерами 60×60 *мм²* — 600 *ма* и т. д. (так как не вся площадь пластины участвует в выпрямлении).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЛЕНОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Электрические характеристики селеновых выпрямителей определяются в основном схемой выпрямления, значениями подводимого и выпрямленного напряжения и током нагрузки.

Для каждого выпрямителя эти данные оговорены в технических условиях, где, кроме того, указаны габаритно-установочные размеры, расположение выводов и вес выпрямителя.

Электрическая схема соединения элементов в выпрямителе определяет его вид. Вид выпрямителя имеет условное буквенное обозначение (табл. 1).

Каждый выпрямитель имеет маркировку, условно характеризующую его данные. Наименование выпрямителя может состоять из семи обозначений:

1) размер выпрямительных элементов;
2) класс выпрямителя по допустимому переменному напряжению на один элемент;
3) обозначение схемы (вид) выпрямителя;
4) общее количество элементов;
5) серия;
6) количество параллельных ветвей;
7) дополнительное специальное обозначение особенностей исполнения (при обычном исполнении обозначение не проставляется).

Для примера рассмотрим условное обозначение выпрямителя 40ГД24А.

Из обозначения видно, что выпрямитель набран из элементов размерами 40×40 *мм* класса Г, т. е. рассчитанных на допустимую величину эффективного значения переменного напряжения 25 *в*, схема выпрямителя двуплечая с общим числом элементов в обоих

Таблица 1

Вид выпрямителя	Принципиальная электрическая схема соединения элементов	Буквенное обозначение выпрямителя
Единичный вентиль		Е
Двуплечий выпрямитель	~ − +	Д
Со средней точкой	+ ~ ~	С
Однофазный мост	~ + ~ −	М
Трехфазный мост	~ ~ ~ − +	Т

плечах 24, т. е. по 12 элементов в плече, по конструктивному исполнению и свойствам элементы относятся к классу А. В рассматриваемом выпрямителе нет параллельных ветвей, и он выполнен в нормализованной конструкции с влагозащитной окраской.

Если этот же выпрямительный столбик предназначается для работы в трансформаторном масле, т. е. не окрашен, то он должен иметь следующее обозначение: 40ГД24А—Н.

В этом случае тире означает отсутствие параллельных ветвей, а буква Н — отступление от нормализованной конструкции (отсутствие окраски). Буквенные обозначения, характерные для других видов отклонения от нормализованной конструкции, указаны в технических условиях.

В случае сборки выпрямителя из 24 элементов по мостовой схеме вместо буквы Д, обозначающей «двуплечий выпрямитель», ставится буква М — «однофазный мост» и обозначение принимает вид 40ГМ24А.

По обозначению выпрямителя можно определить его основные электрические параметры.

Размер выпрямительного элемента определяет допустимое значение выпрямленного тока. Так, для случая работы в однофазной однополупериодной схеме, когда выпрямительный столбик собран по схеме «вентиль», ток нагрузки определяется размерами выпрямительного элемента:

Размер выпрямительного элемента, *мм* . . .	⌀18 или 15×15	⌀25 или 22×22	30×30	40×40	60×60	75×75	100×100	100×200
Допустимый ток нагрузки, *а* . .	0,04	0,075	0,15	0,3	0,6	1,2	2,0	4,0

Для случая однофазного моста значения выпрямленного тока удваиваются. Таким образом, ток нагрузки для выпрямителя 40ГД24А равен 0,3 *а*, а для выпрямителя 40ГМ24А — 0,6 *а*.

Допустимое значение подводимого переменного напряжения определяется, исходя из количества элементов, их класса и схемы соединения. Очевидно, что на выпрямитель 40ГД24А может быть подано напряжение 24·25=600 *в*, а на выпрямитель 40ГМ24А, работающий в схеме однофазного моста, — не более чем 6·25=150 *в*, так как каждое плечо выпрямителя содержит 6 элементов.

Величина выпрямленного напряжения для одно- и двухполупериодных схем определяется по формуле

$$U_в = U_п k - U_{с.э} N,$$

где $U_в$ — величина выпрямленного напряжения;

$U_п$ — значение подводимого переменного напряжения;

$U_{с.э}$ — среднее значение падения напряжения на одном выпрямительном элементе (определяется, исходя из группы элемента);

k — коэффициент, равный 0,44 для однофазной однополупериодной схемы и 0,88 для случая однофазного моста (при отсутствии отклонения от синусоидальности кривой напряжения коэффициенты k равны 0,45 и 0,90);

N — количество элементов в выпрямителе (при отсутствии параллельных соединений).

Подсчитаем величину выпрямленного напряжения для выпрямителей 40ГД24А и 40ГМ24А.

Падения напряжения в выпрямителях обоих типов равны, так как они собраны из одинакового числа элементов. Среднее значение падения напряжения на одном выпрямительном элементе примем равным 0,6 *в*. Тогда $U_{с.э}N = 0{,}6 \cdot 24 = 14{,}4$ *в*.

Для выпрямителя 40ГД24А: $k = 0{,}44$; $U_п = 600$ *в*;

$$U_в = 600 \cdot 0{,}44 - 14{,}4 = 250 \text{ в}.$$

Для выпрямителя 40ГМ24А: $k = 0{,}88$; $U_п = 150$ *в*;

$$U_в = 150 \cdot 0{,}88 - 14{,}4 = 118 \text{ в}.$$

В технических условиях на селеновые выпрямители в графе «Выпрямленное напряжение» против выпрямителей 40ГД24А и 40ГМ24А указано: не менее 230 *в* и 110 *в* соответственно. Существенное различие между вычисленными значениями выпрямленного напряжения и оговоренными в справочной таблице объясняется тем, что в технических условиях указан нижний предел напряжения с учетом возможной погрешности приборов при измерениях и других отклонений.

В технических условиях не оговаривается обратный ток или ток холостого хода выпрямителей, а также суммарное падение напряжения на элементах. Как правило, эти параметры не имеют существенного значения для селеновых выпрямителей общего применения. Однако в некоторых случаях их необходимо учитывать.

Схемы измерения параметров выпрямителей зависят от их вида. Для случая однофазного моста они показаны на рис. 5.

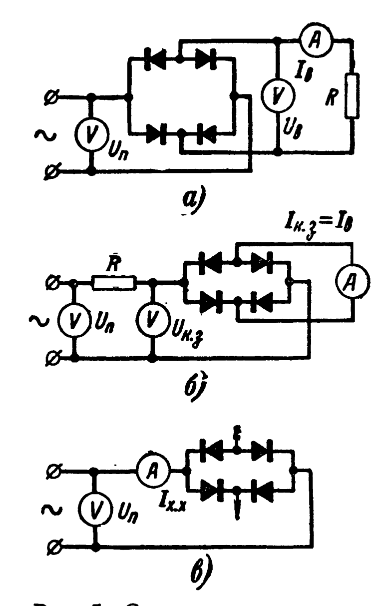


Рис. 5. Схемы измерения выпрямительного моста.

а — выпрямленного напряжения; *б* — напряжения короткого замыкания; *в* — тока холостого хода.

Измерение напряжения короткого замыкания $U_{к.з}$ и тока холостого хода $I_{х.х}$ выпрямителя позволяет оценить раздельно потери в прямом и обратном направлениях.

Схема измерения короткого замыкания получается из схемы измерения выпрямленного напряжения если плюс и минус выпрямителя замкнуть на амперметр, а нагрузочное сопротивление перенести в цепь переменного тока. Вольтметр переменного тока для измерения напряжения короткого замыкания включают непосредственно на входе моста. Ток короткого замыкания устанавливают равным номинальному току нагрузки или значению, при котором требуется определить прямые потери в выпрямителе.

При измерении тока холостого хода выводы плюс и минус разомкнуты. На вход выпрямителя подается переменное напряжение, равное номинальному,

СВОЙСТВА СЕЛЕНОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ И СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ НЕКОТОРЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В СХЕМАХ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

В процессе эксплуатации величина прямого падения напряжения у селеновых вентилей возрастает. Этот процесс, приводящий к увеличению потерь в выпрямителе, называется старением.

При хранении выпрямителей старение их мало заметно. Оно значительно возрастает при работе выпрямителей, в особенности если температура их превосходит допустимую по техническим условиям.

Для того чтобы обеспечить нормальный срок службы выпрямителей, необходимо, чтобы температура нагрева элементов не превышала 75° С для выпрямителей серии А и 80° С для выпрямителей серии Г. Эти температуры предельные, и длительное превышение их может резко ускорить процесс старения выпрямителей. Желательно, чтобы температура элементов в начале эксплуатации не превышала 65 и 70° С для выпрямителей серий А и Г соответственно.

Это условие может соблюдаться автоматически, если руководствоваться при эксплуатации выпрямителей табл. 2.

Таблица 2

Температура окружающего воздуха, °С	Переменное напряжение, % от номинального	Выпрямленный ток, % от номинального
До +35	100	100
От +35 до +50	100 (80)	80 (100)
От +50 до +60	80	60

Как видно из табл. 2, при температуре окружающего воздуха более 35° С необходимо уменьшить выпрямленную мощность. Это можно сделать либо путем уменьшения на 20% тока нагрузки, оставив неизменным подводимое напряжение, либо путем снижения до 80% величины переменного напряжения, оставив без изменения величину выпрямленного тока.

При температуре окружающего воздуха выше 50° С необходимо снижать как подводимое переменное напряжение, так и ток нагрузки.

Одна из отличительных особенностей селеновых выпрямителей — большая надежность в эксплуатации. Это в значительной мере обусловлено способностью их выдерживать значительные кратковременные перегрузки и мгновенно самовосстанавливаться при пробое.

Пробой выпрямительного элемента сопровождается искрой, оставляющей след на его поверхности в виде небольшого кратера. Кратер образуется вследствие выброса в момент пробоя катодного сплава и местного расплавления селена, который переходит при этом в аморфное состояние. Аморфный селен служит изолятором и «залечивает» место пробоя.

В процессе изготовления селеновых элементов они искусственно подвергаются действию высокого напряжения для пробоя и вы-

жигания «слабых» мест. Поэтому на поверхности выпрямительных элементов имеется значительное количество кратеров, что отнюдь не снижает их качество.

Несмотря на свойство селеновых вентилей самовосстанавливаться при пробое, не следует подавать на выпрямитель переменное напряжение выше номинального. В крайнем случае превышение напряжения может составлять не более 10%, на что выпрямители рассчитаны в предположении возможного колебания напряжения сети.

При правильной эксплуатации селеновых выпрямителей они служат практически неограниченное время. Заводы-изготовители гарантируют срок службы в несколько десятков тысяч часов.

Как уже было указано, в процессе длительной эксплуатации выпрямителей в них происходит необратимый процесс увеличения сопротивления элементов, что приводит к соответственному уменьшению выходного напряжения и увеличению температуры выпрямителя. Расчеты показывают, что при уменьшении в результате старения выходного напряжения выпрямителей на 10% режимы их работы становятся критическими, поэтому такое уменьшение выпрямленного напряжения принято оценивать как окончание срока их службы.

При длительном хранении селеновых выпрямителей может наблюдаться увеличение обратного тока. Этот процесс называется расформовкой. Расформовка характерна только для элементов серии А. Элементы серии Г, как правило, не расформовываются. Расформовка значительно возрастает, если выпрямители хранятся в условиях повышенной влажности в сочетании с высокой температурой.

Расформованные выпрямители приобретают первоначальные характеристики после включения их в работу. Сильно увлажненные выпрямители необходимо подсушить и подформовать, постепенно повышая подаваемое на них напряжение.

Селеновые выпрямители нельзя использовать в схемах, в которых через элементы длительное время проходит ток только в прямом направлении. Работа выпрямителей в таком режиме приводит к интенсивной расформовке.

Селеновые вентили обладают в прямом направлении отрицательным температурным коэффициентом сопротивления. Это означает, что при повышении температуры выпрямительных элементов их сопротивление уменьшается, а значение выпрямленного напряжения увеличивается. Соответственно уменьшение температуры приводит к значительному уменьшению напряжения на выходе выпрямителя.

В момент включения выпрямителей, длительное время находившихся при низкой отрицательной температуре (—50÷—60° С), величина выпрямленного напряжения может снизиться на 10—15% против номинального значения. Постепенно, по мере прогрева выпрямителей выходное напряжение возрастает.

Величина обратного тока при повышении температуры изменяется не очень значительно, зато она сильно возрастает при охлаждении выпрямителей, что также приводит к ухудшению их вентильных свойств.

Селеновые выпрямители предназначены для преобразования переменного тока частотой до 1 000 *гц*. Такое ограничение по частоте объясняется значительной емкостью выпрямительных элементов (около 0,02 *мкф/см*^{2}).

Селеновые выпрямители применяются в различных схемах выпрямления и с различными нагрузками (активная, емкостная, зарядка аккумуляторов и др.). Для правильного использования выпрямителей необходимо знать некоторые основные соотношения параметров схем.

При работе выпрямителя в однофазной однополупериодной схеме амплитуда обратного напряжения равна 1,41 $U_п$, где $U_п$ — подводимое переменное напряжение. Исходя из этого, необходимо выбирать количество элементов, последовательно соединенных в выпрямителе. При наличии в этой схеме емкостного фильтра или работе на зарядку аккумулятора количество выпрямительных элементов должно быть удвоено по сравнению со схемой без фильтра, так как во время обратной полуволны на элементы действует суммарное напряжение трансформатора и конденсатора или аккумулятора, на который включен выпрямитель.

Наиболее употребительна мостовая схема выпрямления. На каждое из четырех плеч выпрямителя действует обратное напряжение, равное переменному напряжению, подводимому к мосту. Количество выпрямительных элементов в каждом плече моста равно $N=U_п/U_к$, где U — напряжение источника питания, а $U_к$ — класс элемента по обратному напряжению. Величина обратного тока отдельных элементов практически не сказывается на величине выпрямленного напряжения, однако она должна приниматься в расчет при определении потерь в выпрямителе. Кроме того, ее надо учитывать при работе с маломощным источником питания.

При работе выпрямителей в однополупериодных или двухполупериодных схемах на емкость или на аккумулятор величина выпрямленного тока должна быть снижена на 20% по сравнению с работой на активную нагрузку. Это объясняется тем, что при работе на емкость или на аккумулятор увеличивается эффективное значение выпрямленного тока и соответственно возрастают тепловые потери в выпрямителе.

В радиолюбительской практике часто применяют схему удвоения. Она применяется в тех случаях, когда требуется высокое напряжение при малом токе. Схема удвоения напряжения имеет круто падающую внешнюю характеристику, поэтому нагрузка должна быть мало изменяющейся. При холостом ходе среднее значение выпрямленного напряжения в схеме удвоения $U_в=2{,}82\ U_п$, где $U_п$ — напряжение, подающееся на схему. Амплитуда обратного напряжения равна 2,82 $U_п$.

Наименьшей пульсацией обладают трехфазные мостовые схемы выпрямления. Коэффициент пульсации β для случая трехфазного моста равен 0,057, в то время как для однофазного моста он равен 0,663. Среднее значение выпрямленного напряжения без учета падения напряжения на элементах равно 2,34 $U_ф$, где $U_ф$ — фазовое напряжение вторичной обмотки трансформатора.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ, ТИПЫ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ, УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

При выборе для конкретной цели выпрямительного столбика можно руководствоваться частными техническими условиями, в которых приведены наименования и номинальные электрические параметры типовых выпрямителей открытой конструкции.

В частных технических условиях приведены данные по выпрямителям всех классов: В, Г, Д, Е, И и К.

Напомним, что это соответствует элементам на 20, 25, 30, 35, 40 и 45 *в* соответственно.

Выпрямители класса В выпускаются в весьма ограниченном количестве, и в ближайшее время поставки их будут прекращены. Выпрямители классов И и К поставляются только по особому согласованию с заводом-изготовителем.

Так как выпрямители классов И и К рассчитаны на более высокое обратное напряжение, их размеры и вес меньше, чем у выпрямителей других классов.

Для примера сравним два выпрямительных столбика, собранных по мостовой схеме, на одинаковое подводимое переменное напряжение 200 *в* и ток нагрузки 0,6 *а*. Выпрямитель из элементов класса Г с обратным напряжением 25 *в* содержит в каждом плече моста по 8 элементов при общем количестве 32. Шифр выпрямителя 40ГМ32А. Размер столбика 220 *мм*, вес 0,35 *кг*.

Выпрямитель из элементов класса И имеет шифр 40ИМ20Г. Число элементов в каждом плече моста равно 5, а общее число элементов 20. Размер столбика 155 *мм*, вес 0,235 *кг*.

Таким образом, выпрямитель из 40-вольтовых вентилей на 65 *мм* короче и на 115 *г* легче, чем выпрямитель из элементов серии Г с обратным напряжением 25 *в*.

Выпрямители из элементов высоких классов имеют также большее значение выпрямленного напряжения при одном и том же подводимом переменном напряжении. Так, у выпрямителя 40ИМ20Г напряжение на выходе равно 155 *в*, а у выпрямителя 40ГМ32А—150 *в*.

Более высокое выпрямленное напряжение у столбика из 40-вольтовых элементов объясняется тем, что число их в выпрямителе меньше и, следовательно, меньше внутреннее падение напряжения в выпрямителе.

Селеновые выпрямители классов В, Г и Д выпускаются из элементов квадратной и прямоугольной формы, размерами: 15×15, 22×22, 30×30, 40×40, 60×60, 75×75, 90×90, 100×100, 100×200, 100×300 и 100×400 *мм*. Выпрямители классов Е, И и К собираются из элементов круглой и квадратной форм размерами: ∅ 18, ∅ 25 *мм*, 40×40, 75×75 и 100×100 *мм*.

В технических условиях представлены выпрямители, собранные по схемам: двуплечий выпрямитель, выпрямитель со средней точкой, однофазный и трехфазный мосты.

Двуплечие выпрямители содержат от 2 до 32 элементов. Параметры выпрямителей (переменное и выпрямленное напряжения и ток нагрузки) определены для схемы однофазного однополупериодного напряжения. Пределы подводимого напряжения в соответствии с классом элементов и их количеством изменяются от 40 до 640 *в* для выпрямительных элементов класса В и от 90 до 1 440 *в* для выпрямительных элементов класса К.

Величина выпрямленного напряжения, определяемая как $U_в = 0{,}44\ U_п$, соответственно изменяется от 14 до 230 *в* и от 36 до 575 *в*.

Поскольку двуплечие выпрямители представляют собой последовательное соединение элементов и имеют два крайних и один средний вывод, то из них могут быть скомплектованы любые другие схемы, в том числе схемы со средней точкой и мосты.

Выпрямители со средней точкой для всех классов элементов представлены только одним типом — двумя выпрямительными элементами, включенными навстречу друг другу, поскольку такой тип выпрямителя не может быть собран из двуплечих столбиков. Эти выпрямители имеют шифр с окончанием С2А или С2Г (например, 15ВС2А или 75ИС2Г), где буква С обозначает вид принципиальной схемы, цифра 2 — количество вентилей, а буква А или Г — конструкцию выпрямительных элементов.

При определении электрических параметров выпрямителей полюсы, обозначенные «∼», соединяют между собой для того, чтобы образовался выпрямитель с двумя параллельно соединенными элементами. Поэтому в справочной таблице выпрямленный ток равен удвоенному значению по сравнению с номинальным для выпрямительных элементов данного размера. Выпрямители испытывают в схеме однофазного однополупериодного выпрямления.

Столбики, собранные по однофазной мостовой схеме, имеют от 4 до 32 вентилей, т. е. от 1 до 8 выпрямительных элементов в каждом плече моста. Величина подводимого переменного напряжения находится в пределах от 20 до 160 *в* для выпрямителей класса В и от 45 до 360 *в* для выпрямителей класса К. Соответственно величина выходного напряжения равна 14—115 *в* и 35—285 *в*.

Начиная с размера элементов 75×75 *мм*, комплектуются выпрямительные столбики, собранные по схеме трехфазного моста. В соответствии с особыми условиями работы выпрямительных элементов в трехфазной схеме (более длительное время прохождения обратного тока) величина подводимого переменного напряжения снижается на 12—15% по сравнению с другими схемами выпрямления. Так, для выпрямителей класса Г она равна 22 *в* на 1 элемент вместо 25 *в*, а для выпрямителей класса Е — 30 *в* вместо 35 *в*.

В трехфазных схемах выпрямления величина выходного напряжения в 1,35 раза больше подводимого линейного напряжения (для идеального случая — при отсутствии потерь в элементах). Поэтому для столбиков, собранных по схеме трехфазного моста, выпрямленное напряжение в среднем на 15% выше подводимого переменного напряжения.

Выпрямленный ток в трехфазных мостовых схемах в 1,5 раза больше, чем в схемах однофазного моста.

Некоторые типы выпрямителей, начиная с размеров 100×100 *мм* и выше, выпускаются с параллельным соединением выпрямительных элементов. Они соответственно рассчитаны на больший выпрямленный ток. Например, выпрямитель серии 100ЕМ24Г6, собранный по мостовой схеме, имеет 6 параллельных элементов в каждом плече моста, а всего 24 выпрямительных элемента. Выпрямленный ток равен 21,5 *а*. Он несколько меньше 6-кратного тока нагрузки (24 *а*) по отношению к обычной схеме без параллельного включения, так как учитывается вероятность неравномерного распределения тока между элементами, что может повлечь за собой перегрев выпрямителя.

Кроме выпрямителей серий А и Г, электрические параметры которых приведены в частных технических условиях, по отдельным техническим условиям выпускаются выпрямители серий Е и Я. Выпрямители серии Е собираются из температуростойких элементов, допускающих работу при температуре окружающей среды до +100° С.

Выпрямители серии Е собираются из элементов 40×40 *мм* класса Г.

При предельной температуре окружающего воздуха (около +100° С) температура вентилей может достичь 130—135° С. Хотя выпрямители серии Е комплектуются из специальных температуростойких вентилей, однако при высоких температурах нагрева процесс старения резко ускоряется. Поэтому срок службы выпрямителей серии Е меньше, чем у выпрямителей других серий.

Выпрямители серии Я собираются из элементов, способных работать при удвоенной плотности тока. Для выпрямителей этого типа номинальное значение выпрямленного тока равно 50 *ма/см²* вместо 25 *ма/см²* для выпрямителей серий А и Г. Так, если для однофазного моста из обычных вентилей размерами 40×40 *мм* ток нагрузки равен 0,6 *а*, то для выпрямительного столбика серии Я он равен 1,2 *а*.

Соответственно для выпрямителей этой серии уменьшаются размеры и вес на единицу выпрямленной мощности.

Способность выпрямителей серии Я работать при повышенной плотности тока объясняется более крутым ходом прямой ветви вольт-амперной характеристики (рис. 6). Такой ход характеристики — следствие меньшего сопротивления выпрямительных элементов в прямом направлении.

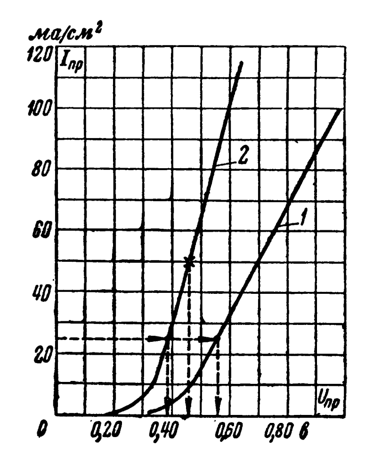


Рис. 6. Вольт-амперные характеристики обычного селенового вентиля (*1*) и вентиля на удвоенную плотность тока (*2*), снятые на однофазном однополупериодном токе.

При удвоенной плотности тока в выпрямителях серии Я падение напряжения в прямом направлении меньше, чем в выпрямителях других серий при номинальной обычной нагрузке. Поэтому, не-

смотря на увеличенный вдвое ток, мощность, выделяемая в выпрямителях серии Я, возрастает не в 2 раза, а меньше.

Как уже было указано ранее, селеновые выпрямители способны выдерживать значительные перегрузки. На рис. 7 ориентировочно приведено соотношение между током перегрузки и временем, в течение которого перегрузка может быть допущена без ущерба для долговечности выпрямителя. Так, например, двойная перегрузка допускается в течение 5 *мин*, а 10-кратная — в течение 10 *сек*. Перегрузка может быть и повторной, однако в этом случае необходимо, чтобы выпрямитель охлаждался между циклами перегрузок по крайней мере до температуры 35° С.

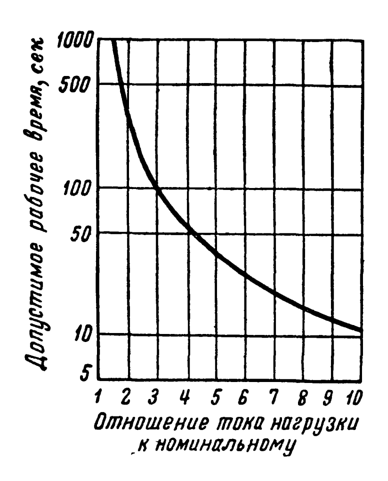


Рис. 7. Допустимая длительность кратковременных перегрузок выпрямителей в зависимости от кратности тока нагрузки.

В случае необходимости длительной эксплуатации выпрямителей при повышенных токах применяют искусственное охлаждение, чаще всего путем обдува выпрямителя воздухом. Иногда для охлаждения применяют масло.

В заключение приведем электрические параметры и типы выпрямителей классов Г, Д и Е, собранных из элементов наименьшего размера — 15×15 *мм*, диаметром 18 *мм* и средних размеров 40×40 и 75×75 *мм*.

Выпрямители этих классов выбраны как наиболее распространенные, а указанные размеры элементов — как наиболее употребительные в выпрямительных схемах малой и средней мощности.

Введенные в последние годы наименования выпрямителей существенно отличаются от ранее действовавших (АВС, ТВС и др.).

В приводимых ниже таблицах, в графе «Наименование выпрямителя (тип)», в скобках даны старые наименования.

Таблица 3

Селеновые выпрямители класса Г

Наименование выпрямителя (тип)	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение (среднее) не менее, *в*	Выпрямленный ток (средний), *а*	Схема соединения элементов
1. Выпрямители из элементов размерами 15×15 мм				
15ГД2А (АВС-15-19)	50	19	0,04	Двуплечий выпрямитель
15ГД4А (АВС-15-18)	100	38	0,04	
15ГД6А (АВС-15-30)	150	57	0,04	
15ГД8А (АВС-15-27)	200	76	0,04	
15ГД10А (АВС-15-57)	250	95	0,04	
15ГД12А (АВС-15-7)	300	115	0,04	
15ГД16А (АВС-15-9)	400	150	0,04	
15ГД20А (АВС-15-52)	500	190	0,04	
15ГД24А (АВС-15-81)	600	230	0,04	
15ГД28А (АВС-15-79)	700	265	0,04	
15ГД32А (АВС-15-310)	800	305	0,04	
15ГС2А (АВС-15-51)	25	9	0,075	Выпрямитель со средней точкой
15ГМ4А (АВС-15-12)	25	18	0,075	Однофазный мост
15ГМ8А (АВС-15-13)	50	37	0,075	
15ГМ12А (АВС-15-1)	75	55	0,075	
15ГМ16А (АВС-15-10)	100	74	0,075	
15ГМ20А (АВС-15-89)	125	92	0,075	
15ГМ24А (АВС-15-92)	150	110	0,075	
15ГМ32А (АВС-15-318)	200	150	0,075	
2. Выпрямители из элементов размерами 40×40 мм				
40ГД2А (АВС-40-75)	50	19	0,3	Двуплечий выпрямитель
40ГД4А (АВС-40-125)	100	38	0,3	
40ГД6А (АВС-40-28)	150	57	0,3	
40ГД8А (АВС-40-79)	200	76	0,3	
40ГД10А (АВС-40-48)	250	95	0,3	
40ГД12А (АВС-40-76)	300	115	0,3	
40ГД16А (АВС-40-65)	400	150	0,3	
40ГД20А (АВС-40-74)	500	190	0,3	
40ГД24А (АВС-40-67)	600	230	0,3	
40ГД28А (АВС-40-309)	700	265	0,3	
40ГД32А (АВС-40-310)	800	305	0,3	

Наименование выпрямителя (тип)	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение (среднее) не менее, *в*	Выпрямленный ток (средний), *а*	Схема соединения элементов
40ГС2А (АВС-40-29)	25	9	0,6	Выпрямитель со средней точкой
40ГМ4А (АВС-40-59)	25	18	0,6	Однофазный мост
40ГМ8А (АВС-40-78)	50	37	0,6	
40ГМ12А (АВС-40-60)	75	55	0,6	
40ГМ16А (АВС-40-69)	100	74	0,6	
40ГМ20А (АВС-40-62)	125	92	0,6	
40ГМ24А (АВС-40-64)	150	110	0,6	
40ГМ32А (АВС-40-318)	200	150	0,6	
3. Выпрямители из элементов размерами 75×75 мм				
75ГД2А (АВС-75-9)	50	19	1,2	Двуплечий выпрямитель
75ГД4А (АВС-75-11)	100	38	1,2	
75ГД6А (АВС-75-13)	150	57	1,2	
75ГД8А (АВС-75-17)	200	76	1,2	
75ГД10А (АВС-75-19)	250	95	1,2	
75ГД12А (АВС-75-23)	300	115	1,2	
75ГД16А (АВС-75-25)	400	150	1,2	
75ГД20А (АВС-75-31)	500	190	1,2	
75ГД24А (АВС-75-308)	600	230	1,2	
75ГД28А (АВС-75-309)	700	265	1,2	
75ГС2А (АВС-75-37)	25	9	2,4	Выпрямитель со средней точкой
75ГМ4А (АВС-75-5)	25	18	2,4	Однофазный мост
75ГМ8А (АВС-75-40)	50	37	2,4	
75ГМ12А (АВС-75-42)	75	55	2,4	
75ГМ16А (АВС-75-46)	100	74	2,4	
75ГМ20А (АВС-75-48)	125	92	2,4	
75ГМ24А (АВС-75-316)	150	110	2,4	
75ГМ28А (АВС-75-317)	175	130	2,4	
75ГТ6А (АВС-75-52)	22	24	3,6	Трехфазный мост
75ГТ12А (АВС-75-54)	44	48	3,6	
75ГТ18А (АВС-75-56)	66	72	3,6	
75ГТ24А (АВС-75-321)	88	96	3,6	

Таблица 4

Селеновые выпрямители класса Д

Наименование выпрямителя (тип)	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение (среднее) не менее, *в*	Выпрямленный ток (средний), *а*	Схема соединения элементов
1. Выпрямители из элементов размерами 15×15 мм				
15ДД2А (ТВС-18-12)	60	23	0,04	Двуплечий выпрямитель
15ДД4А (ТВС-18-32)	120	46	0,04	
15ДД6А (ТВС-18-52)	180	69	0,04	
15ДД8А (ТВС-18-72)	240	92	0,04	
15ДД10А (ТВС-18-92)	300	115	0,04	
15ДД12А (ТВС-18-112)	360	135	0,04	
15ДД16А (ТВС-18-152)	480	185	0,04	
15ДД20А (ТВС-18-192)	600	230	0,04	
15ДД24А (ТВС-18-232)	720	275	0,04	
15ДД28А (ТВС-18-272)	840	320	0,04	
15ДД32А (ТВС-18-312)	960	370	0,04	
15ДС2А (ТВС-18-13)	30	11	0,075	Выпрямитель со средней точкой
15ДМ4А (ТВС-18-34)	30	22	0,075	Однофазный мост
15ДМ8А (ТВС-18-74)	60	45	0,075	
15ДМ12А (ТВС-18-114)	90	67	0,075	
15ДМ16А (ТВС-18-154)	120	90	0,075	
15ДМ20А (ТВС-18-194)	150	110	0,075	
15ДМ24А (ТВС-18-234)	180	135	0,075	
15ДМ32А (ТВС-18-314)	240	180	0,075	
2. Выпрямители из элементов размерами 40×40 мм				
40ДД2А (ТВС-40-12)	60	23	0,3	Двуплечий выпрямитель
40ДД4А (ТВС-40-32)	120	46	0,3	
40ДД6А (ТВС-40-52)	180	69	0,3	
40ДД8А (ТВС-40-72)	240	92	0,3	
40ДД10А (ТВС-40-92)	300	115	0,3	
40ДД12А (ТВС-40-112)	360	135	0,3	
40ДД16А (ТВС-40-152)	480	185	0,3	
40ДД20А (ТВС-40-192)	600	230	0,3	
40ДД24А (ТВС-40-232)	720	275	0,3	
40ДД28А (ТВС-40-272)	840	320	0,3	
40ДД32А (ТВС-40-312)	960	370	0,3	

Наименование выпрямителя (тип)	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение (среднее) не менее, *в*	Выпрямленный ток (средний), *а*	Схема соединения элементов
40ДС2А (ТВС-40-13)	30	11	0,6	Выпрямитель со средней точкой
40ДМ4А (ТВС-40-34)	30	22	0,6	Однофазный мост
40ДМ8А (ТВС-40-74)	60	45	0,6	
40ДМ12А (ТВС-40-114)	90	67	0,6	
40ДМ16А (ТВС-40-154)	120	90	0,6	
40ДМ20А (ТВС-40-194)	150	110	0,6	
40ДМ24А (ТВС-40-234)	180	135	0,6	
40ДМ32А (ТВС-40-314)	240	180	0,6	
3. Выпрямители из элементов размерами 75×75 мм				
75ДД2А (ТВС-75-12)	60	23	1,2	Двуплечий выпрямитель
75ДД4А (ТВС-75-32)	120	46	1,2	
75ДД6А (ТВС-75-52)	180	69	1,2	
75ДД8А (ТВС-75-72)	240	92	1,2	
75ДД10А (ТВС-75-92)	300	115	1,2	
75ДД12А (ТВС-75-112)	360	135	1,2	
75ДД16А (ТВС-75-152)	480	185	1,2	
75ДД20А (ТВС-75-192)	600	230	1,2	
75ДД24А (ТВС-75-232)	720	275	1,2	
75ДД28А (ТВС-75-272)	840	320	1,2	
75ДС2А (ТВС-75-13)	30	11	2,4	Выпрямитель со средней точкой
75ДМ4А (ТВС-75-34)	30	22	2,4	Однофазный мост
75ДМ8А (ТВС-75-74)	60	45	2,4	
75ДМ12А (ТВС-75-114)	90	67	2,4	
75ДМ16А (ТВС-75-154)	120	90	2,4	
75ДМ20А (ТВС-75-194)	150	110	2,4	
75ДМ24А (ТВС-75-234)	180	135	2,4	
75ДМ28А (ТВС-75-274)	210	155	2,4	
75ДТ6А (ТВС-75-56)	26	29	3,6	Трехфазный мост
75ДТ12А (ТВС-75-116)	52	58	3,6	
75ДТ18А (ТВС-75-176)	78	87	3,6	
75ДТ24А (ТВС-75-236)	104	115	3,6	

Таблица 5

Селеновые выпрямители класса Е

Наименование выпрямителя (тип)	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение (среднее) не менее, *в*	Выпрямленный ток (средний), *а*	Схема соединения элементов
1. Выпрямители из элементов диаметром 18 мм				
18ЕД2Г (ТВС-18-12)	70	27	0,04	Двуплечий выпрямитель
18ЕД4Г (ТВС-18-32)	140	54	0,04	
18ЕД6Г (ТВС-18-52)	210	81	0,04	
18ЕД8Г (ТВС-18-72)	280	105	0,04	
18ЕД10Г (ТВС-18-92)	350	135	0,04	
18ЕД12Г (ТВС-18-122)	420	160	0,04	
18ЕД16Г (ТВС-18-142)	560	215	0,04	
18ЕД20Г (ТВС-18-192)	700	270	0,04	
18ЕД24Г (ТВС-18-242)	840	325	0,04	
18ЕД28Г (ТВС-18-282)	980	380	0,04	
18ЕД32Г (ТВС-18-322)	1 120	430	0,04	
18ЕС2Г (ТВС-18-13)	35	13	0,075	Выпрямитель со средней точкой
18ЕМ4Г (ТВС-18-34)	35	26	0,075	Однофазный мост
18ЕМ8Г (ТВС-18-74)	70	53	0,075	
18ЕМ12Г (ТВС-18-114)	105	79	0,075	
18ЕМ16Г (ТВС-18-154)	140	105	0,075	
18ЕМ20Г (ТВС-18-194)	175	130	0,075	
18ЕМ24Г (ТВС-18-244)	210	160	0,075	
18ЕМ32Г (ТВС-18-284)	280	210	0,075	
2. Выпрямители из элементов размерами 40×40 мм				
40ЕД2Г (ТВС-40-12)	70	27	0,3	Двуплечий выпрямитель
40ЕД4Г (ТВС-40-32)	140	54	0,3	
40ЕД6Г (ТВС-40-52)	210	81	0,3	
40ЕД8Г (ТВС-40-72)	280	105	0,3	
40ЕД10Г (ТВС-40-92)	350	135	0,3	
40ЕД12Г (ТВС-40-122)	420	160	0,3	
40ЕД16Г (ТВС-40-142)	560	215	0,3	
40ЕД20Г (ТВС-40-192)	700	270	0,3	
40ЕД24Г (ТВС-40-242)	840	325	0,3	
40ЕД28Г (ТВС-40-282)	980	380	0,3	
40ЕД32Г (ТВС-40-322)	1 120	430	0,3	

Наименование выпрямителя (тип)	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение (среднее) не менее, *в*	Выпрямленный ток (средний), *а*	Схема соединения элементов
40ЕС2Г (ТВС-40-13)	35	13	0,6	Выпрямитель со средней точкой
40ЕМ4Г (ТВС-40-34)	35	26	0,6	Однофазный мост
40ЕМ8Г (ТВС-40-74)	70	53	0,6	
40ЕМ12Г (ТВС-40-114)	105	79	0,6	
40ЕМ16Г (ТВС-40-154)	140	105	0,6	
40ЕМ20Г (ТВС-40-194)	175	130	0,6	
40ЕМ24Г (ТВС-40-244)	210	160	0,6	
40ЕМ32Г (ТВС-40-284)	280	210	0,6	
3. Выпрямители из элементов размерами 75×75 мм				
75ЕД2Г (ТВС-75-12)	70	27	1,2	Двуплечий выпрямитель
75ЕД4Г (ТВС-75-32)	140	54	1,2	
75ЕД6Г (ТВС-75-52)	210	81	1,2	
75ЕД8Г (ТВС-75-72)	280	105	1,2	
75ЕД10Г (ТВС-75-92)	350	135	1,2	
75ЕД12Г (ТВС-75-122)	420	160	1,2	
75ЕД16Г (ТВС-75-142)	560	215	1,2	
75ЕД20Г (ТВС-75-192)	700	270	1,2	
75ЕД24Г (ТВС-75-242)	840	325	1,2	
75ЕД28Г (ТВС-75-282)	980	380	1,2	
75ЕС2Г (ТВС-75-13)	35	13	2,4	Выпрямитель со средней точкой
75ЕМ4Г (ТВС-75-34)	35	26	2,4	Однофазный мост
75ЕМ8Г (ТВС-75-74)	70	53	2,4	
75ЕМ12Г (ТВС-75-114)	105	79	2,4	
75ЕМ16Г (ТВС-75-154)	140	105	2,4	
75ЕМ20Г (ТВС-75-194)	175	130	2,4	
75ЕМ24Г (ТВС-75-244)	210	160	2,4	
75ЕМ28Г (ТВС-75-284)	245	185	2,4	
75ЕТ6Г (ТВС-75-56)	30	33	3,6	Трехфазный мост
75ЕТ12Г (ТВС-75-116)	60	66	3,6	
75ЕТ18Г (ТВС-75-176)	90	99	3,6	
75ЕТ24Г (ТВС-75-236)	120	130	3,6	

Цена 6 коп.